

## ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н. Гребенкина Александра Витальевича на диссертационную работу Ивашовой Наталии Дмитриевны «Система автоматического управления посадочным маневром беспилотного летательного аппарата при действии бокового ветра», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (информатика, управление и вычислительная техника)»

**Актуальность работы.** Посадка самолета является одной из самых опасных и сложных операций в полете, особенно при неблагоприятных метеоусловиях. Опыт посадки пилотируемых самолетов в гражданской авиации прямо указывает на значительное число летных происшествий на этом этапе полета, в первую очередь при действии сильного бокового ветра. Еще сложнее задача автоматической посадки беспилотного летательного аппарата (БЛА), когда в момент приземления необходимо обеспечить автоматическое управление в продольном и боковом каналах управления, направленное на обеспечение касания БЛА с приемлемой нормальной перегрузкой в пределах ВПП на заданном удалении от её торца.

Поэтому тема данной диссертационной работы, посвященной формированию системы автоматического управления посадкой БЛА при сильном боковом ветре, является **актуальной**.

**Целью диссертационной работы** является расширение области ожидаемых условий эксплуатации и повышение безопасности посадки БЛА при действии значительных боковых ветровых возмущений.

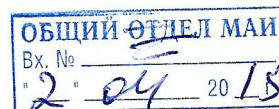
**Предметом исследований** являются алгоритмы многорежимного управления боковым и продольным движением БЛА в процессе снижения по глиссаде и выравниванию.

Основным недостатком существующих способов посадки при сильном боковом ветре является либо приземление с ненулевым креном, либо значительный угол увода колес шасси из-за неравенства углов пути и курса. И то, и другое создает опасную нагрузку на стойки шасси, а наличие большого крена на этапе выравнивания может привести к касанию ВПП консольной частью крыла самолёта. Для устранения этого недостатка в работе выдвинуты следующие **основные научные положения, выносимые на защиту**:

1. Способ многорежимного управления посадочным маневром при автоматическом переключении режимов управления в моменты времени, зависящие от скорости полёта и скорости бокового ветра.
2. Алгоритмы координации управления боковым и продольным движением при синхронной минимизации боковой скорости, бокового смещения от оси ВПП и отклонений от заданных значений путевого угла и угла курса в момент приземления.
3. Методика определения границ области допустимых отклонений в моменты начала выравнивания и приземления с оценкой качества приземления в виде единого параметрического критерия.

Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. **Во введении** автором обосновываются актуальность темы и задачи работы, формулируется цель исследований, показана новизна и значимость исследований, а также указаны основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** сформулирована общая постановка задачи, в которой предложен новый способ автоматического управления БЛА на посадке с выполнением бокового маневра в условиях сильного бокового ветра. Способ основан на последовательном выполнении следующих этапов:



1. Этап снижения с заданным углом наклона траектории и удержанием БЛА на курсе ВПП,
2. Этап расчетного линейного отклонения от заданной линии пути в попутную ветру сторону,
3. Этап возвращения к линии пути навстречу ветру при управлении по крену, обеспечивающему необходимую величину боковой скорости БЛА против ветра,
4. Этап выравнивания, на котором управлением рулём высоты выполняется переход на меньший угол наклона траектории, выравнивание курса БЛА при выходе на линию пути при управлении рулем направления и элеронами с нулевым креном.

Показано, что в этом случае в боковом движении есть принципиальная возможность существенной минимизации угловых и линейных отклонений БЛА от оси ВПП при минимальном крене и минимальной боковой скорости движения в момент приземления.

**Во второй и третьей главах** исследуется многорежимное управление на всех этапах посадки, для которых определены свои законы линейного управления рулем высоты, элеронами и рулем направления, а также получены формулы заданного бокового смещения от оси ВПП, заданного угла рыскания и угла пути в зависимости от скорости полёта и скорости бокового ветра. Получены формулы расчета размеров участков посадочной дистанции и, с их помощью, формулы определения контрольных значений высот полета, по достижении которых необходимо переключение с одного режима (этапа посадки) на другой. Эти выражения в алгебраической форме устанавливают зависимость моментов переключения от скорости полета БЛА и силы бокового ветра, что очень важно и открывает путь к автоматическому многорежимному управлению посадкой в условиях значительных боковых ветровых возмущений.

**Четвертая глава** посвящена решению задачи координации бокового и продольного движения с целью одновременного обнуления (минимизации) отклонений по положению и боковой скорости в момент касания земли. Делается предположение о том, что достижение этой цели возможно при синхронном изменении в разные стороны передаточных чисел регуляторов в двух каналах продольного и бокового движения с учетом отставания или опережения их действий. На основе динамического программирования теоретически доказано, что при синтезе оптимального координированного управления необходимо использовать квазилинейные регуляторы, причем их передаточные числа изменять нужно не только для отклонений по положению, но и по скорости, чтобы усилить эффект в координации действий каналов.

**Пятая глава** содержит результаты моделирования процессов посадки БЛА типа «Орион» с оценкой влияния перекрёстных связей и координации бокового и продольного движения при синтезе законов управления элеронами и рулём направления. Рассмотрены варианты посадок в условиях действия бокового, встречно-бокового ветра и атмосферной турбулентности. Полученные результаты математического моделирования подтверждают высокую эффективность предложенного способа управления на посадке и указывают на возможность расширения диапазона допустимых для данного БЛА боковых ветровых возмущений примерно в 1,5 – 2 раза.

**В шестой главе** сделана завершающая попытка упростить оценку качества приземления БЛА в сложных погодных условиях, представив ее в виде единого параметрического критерия. С его помощью удалось определить границы области приемлемого качества приземления, а также области допустимых отклонений от штатной траектории предложенного маневра в начале выравнивания. Это позволило заблаговременно прогнозировать безопасность посадки и в случае угрозы дать команду ухода на второй круг.

**Научная новизна** полученных результатов состоит, на мой взгляд, в следующем:

1. Предложено многорежимное управление боковым движением, обладающее потенциально высоким качеством синхронной минимизации боковой скорости, бокового смещения от оси ВПП и отклонений от заданных значений путевого угла и угла курса в момент приземления БЛА в условиях сильного бокового ветра.
2. Сформирован облик трехканальной системы автоматического управления посадкой при реализации механизма переключения режимов без участия человека.
3. В результате моделирования выявлен существенный выигрыш в качестве решаемой задачи по приведению БЛА к оси ВПП в момент касания в условиях сильного бокового ветра, а также разработана методика определения областей приемлемого качества посадки.

**Практическая значимость работы** определяется тем, что в ней обоснованы очевидные преимущества нового способа автоматического управления на посадке в сложных погодных условиях, позволяющего существенно расширить область ожидаемых условий эксплуатации беспилотных летательных аппаратов с оценкой возможности безопасного завершения их посадки или ухода на второй круг.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается результатами математического моделирования предложенного способа посадки с использованием полной математической модели лёгкого БЛА типа «Орион», разработанной компанией «Транзас». Моделирование выполнено на ЭВМ в широком диапазоне возможных ветровых возмущений, возникающих по разным направлениям – боковому, вертикальному, встречному.

Диссертационная работа Ивашовой Н.Д. написана чётким, ясным языком с хорошей логической последовательностью изложения. Материалы диссертационной работы в достаточной мере опубликованы в печатных изданиях, рекомендованных перечнем ВАК, докладывались и получили положительную оценку на международных научно-технических семинарах.

Автореферат и научные публикации отражают содержание диссертации. Диссертационная работа в целом является логичным, законченным, самостоятельным исследованием, имеющим как научную новизну, так и практическую значимость. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы.

Вместе с тем необходимо указать на следующие **недостатки**:

1. При рассмотрении процесса посадки анализировались этапы снижения по глиссаде и выравнивания. Выравнивание моделировалось путём ступенчатого уменьшения заданного угла наклона траектории от  $-3^0$  до  $-2^0$  без учёта необходимого дросселирования тяги двигателей, что может привести к грубой посадке на переднюю опору шасси. При этом в работе отсутствует информация о получаемых в результатах математического моделирования нормальных перегрузках касания ВПП.
2. Из приведённых в работе данных не ясно, как получены формулы заданного бокового отклонения от оси ВПП ( $Z_{зад}$ ), заданного курсового ( $\psi_{зад}$ ) и путевого ( $\chi_{зад}$ ) углов в зависимости от идентифицированной величины скорости ветра и скорости полёта БЛА.
3. В описании алгоритма автоматического переключения режимов управления посадочным манёвром допущены ошибки обращения к столбцам таблицы определения участков посадочного манёвра и назначения уставок.
4. В диссертационной работе процессы автоматической посадки моделируются с использованием математической модели БЛА «Орион», полное описание которой отсутствует, так же как и данные о её адекватности.

5. Весьма важное влияние на работу предложенной системы управления должна оказать турбулентная составляющая ветра, мешающая точному прогнозированию ожидаемого качества приземления. При этом важное место в решаемой задаче занимает качество управления в продольном канале. Первые результаты исследований по этому вопросу в диссертации есть, но ему уделено недостаточное внимание.

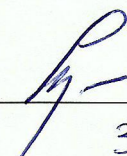
Несмотря на указанные недостатки, представленная диссертационная работа является законченным научным исследованием, связанным с решением важной практической задачи повышения безопасности посадки и расширение области ожидаемых условий эксплуатации БЛА при действии бокового ветра с помощью многорежимной системы автоматического управления.

В целом считаю, что диссертация обладает достаточной научной новизной и практической ценностью полученных результатов, заслуживает положительной оценки, а ее автор Ивашова Наталия Дмитриевна – присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01.

Начальник отдела открытого акционерного общества «Московский институт электромеханики и автоматики»,

доктор технических наук

Гребенкин Александр Витальевич

 Гребёнкин А. В.  
31.03.15

125319, г. Москва, Авиационный пер., д. 5

8 (495) 223-27-09 доб.46-48

Подпись А.В. Гребёнкина заверяю,

Учёный секретарь диссертационного совета

ДСО 403.006.01 ОАО «МИЭА», к.т.н.



Б. Кербер